

**TP ST
A1**
ROCHES MAGMATIQUES ET METAMORPHIQUES

COURS : ST-B, ST-F, ST-G TP : ST-A3, ST-A4, ST-A5



Le **magmatisme** est l'ensemble des phénomènes liés à la formation, aux déplacements et à la cristallisation des magmas. Ces derniers sont des liquides à haute température (au moins 600°C) capables de donner des roches par refroidissement.

On distingue classiquement deux grands types de magmatisme :

- Le **plutonisme**, correspondant à un refroidissement lent des magmas, plutôt en profondeur. Il donne des roches magmatiques plutoniques, entièrement cristallisées (les cristaux étant visibles à l'œil nu).
- Le **volcanisme**, correspondant à un refroidissement rapide des magmas (on parle alors de laves), en surface ou proche de la surface. Il donne des roches magmatiques volcaniques, qui peuvent n'être que partiellement cristallisées ou dont les cristaux peuvent être invisibles à l'œil nu.

Le **métamorphisme** correspond à l'ensemble des phénomènes liés à la transformation des roches (magmatiques, sédimentaires ou déjà métamorphiques) sous l'effet de contraintes, d'une hausse de la pression, d'une hausse de la température. On situe après la cristallisation de la roche (pour les roches magmatiques) ou après la transformation du sédiment en roche (= diagénèse ; pour les roches sédimentaires).

Le métamorphisme peut modifier la composition minéralogique de la roche, l'orientation des minéraux, la structure générale de la roche.

Le but de ce TP est d'observer à quels assemblages de minéraux correspondent des roches magmatiques, de relier ces compositions minéralogiques à leur composition chimique, et d'aborder les comparaisons et conclusions qu'il est possible d'en tirer. Il s'agit aussi ici d'appréhender ce qui caractérise des roches métamorphiques.

Les observations seront menées dans ce TP **sur un nombre limité de roches**, et seront complétées par des TP de BCPST2 dans le cadre des cours sur le magmatisme et le métamorphisme.

Programme officiel :

Identifier quelques roches de la lithosphère par une analyse macroscopique raisonnée et par l'étude de lames minces :

Roches magmatiques : basaltes, gabbros, granites

Roches métamorphiques : micaschistes, gneiss

Péridotite

Identifier quelques minéraux : olivine, feldspaths (plagioclases et orthose), quartz, micas (biotite et muscovite), amphiboles, pyroxènes, grenat

Sur les clichés de lames minces exploitables lors d'exercices, les minéraux sont légendés

Compétences :

Collecter des données sur le terrain : nature des roches

Exploiter des données géochimiques pour identifier une roche :

Diagramme TAS, diagramme de Streckeisen, diagramme AFM

Données de microsondes, grilles pétrogéniques

Identifier une roche magmatique ou métamorphique à partir d'un échantillon macroscopique ou d'une lame mince (noms des minéraux fournis pour les préparations microscopiques) : cf. liste ci-dessus

Identifier à l'œil nu des minéraux : cf. liste ci-dessus

Réaliser un dessin d'observation

Présenter de manière pertinente un objet géologique (dessin, schéma, description, identification, présentation comparative, échelle...)

1. Quelques notions générales sur les roches et les minéraux

Voir poly 1 – préparation du TP

2. Les minéraux des roches magmatiques

2.1. Méthodes de reconnaissance à l'œil nu : généralités

➤ **A la vue** : vous pouvez repérer la couleur naturelle du minéral, la trace qu'il laisse sur une feuille de papier blanc, son éclat (mat, gras, ou translucide...), ses formes propres (s'il les possède), l'existence de plans de clivage, la présence de macles caractéristiques.

➤ **Au toucher** : certains minéraux sont particulièrement denses, d'autres ont un toucher onctueux comme le talc (qui est une argile)

➤ **Le goût (!)**: il est probable que les échantillons du concours ne soient pas désinfectés entre chaque candidat, mais sachez néanmoins que la halite (ou sel gemme, NaCl) et la sylbite (KCl) sont solubles et salés.

➤ **L'effervescence à l'acide chlorhydrique** caractérise les carbonates (voir le TP sur les roches sédimentaires)

➤ **La dureté**: pour la déterminer, on choisit une face plane du minéral et on cherche à la rayer avec une pointe aiguë (ongle, verre ou acier) ou bien au contraire, on cherche à rayer l'un de ces 3 éléments avec un minéral. Dans tous les cas, on essuie la rayure pour vérifier qu'elle existe réellement. L'échelle de dureté de Mohs est la suivante (chaque minéral est rayé par celui qui le suit; ce qui est souligné est à connaître) :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Talc	<u>gypse</u>	<u>calcite</u>	fluorite	apatite	<u>orthose</u>	<u>quartz</u>	topaze	corindon	diamant
	↑ ongle			↑ acier	↑ verre				

2.2. Pour information : méthode de reconnaissance au microscope polarisant

Voir annexe sur le microscope polarisant à la fin du poly.

Plusieurs éléments de description sont utilisés :

➤ **Couleur en LPNA** : de nombreux minéraux sont incolores en LPNA, mais dans certains cas la coloration est intéressante ; la biotite, ainsi, apparaît brune. On parle de pléochroïsme lorsqu'il y a variation de la couleur suivant l'orientation du cristal par rapport au plan de polarisation de la lumière (donc lorsque l'on fait tourner la platine). La rotation de la platine permet aussi l'analyse des angles d'extinction du minéral.

➤ **Relief en LPNA** : certains minéraux ont des contours nettement visibles en LPNA. Ils se « détachent » du reste de la lame et paraissent donc être en relief. On peut améliorer l'estimation du relief en fermant partiellement le diaphragme.

Exemples :
 fort relief : genat
 Très faible relief : quartz
 Relief variable : calcite

➤ **Clivages** : fragmentation d'un minéral selon des plans déterminés par la structure cristalline.

Exemples :
 clivages à angle droit : pyroxène
 Clivages à 120° : amphibole
 Clivages parallèles : biotite (micas noir), muscovite (micas blanc)

➤ **Teintes de polarisation en LPA** : il s'agit de la palette de couleur obtenue lors de l'observation en LPA. On divise l'échelle des couleurs en ordres :

- 1^{er} ordre : couleurs peu vives, allant du blanc au gris et à l'orange terne
- 2^{ème} et 3^{ème} ordre : couleurs vives ; jaune, violet, bleu et vert
- Ordres supérieurs : couleurs pastels

➤ **Macles** : un minéral peut être constitué de différentes zones où les réseaux cristallographiques sont orientés différemment. Elles sont visibles en particulier en LPA.

Exemples :
 Macle simple = de Carlsbad : deux zones avec extinction pour des angles différents ; Orthose
 Macles polysynthétiques : répétitions de macles simples ; Plagioclase

2.3. Les minéraux au programme et leurs familles d'appartenance

Les minéraux des roches magmatiques sont des silicates, c'est-à-dire des minéraux basés sur le Silicium. La structure élémentaire de ces minéraux est le tétraèdre de Silicium SiO₄⁴⁻. On peut distinguer différentes familles de silicates en fonction de l'organisation de ces tétraèdres, et selon la maille élémentaire formée (la maille élémentaire est la plus petite structure dont la répétition conduit au cristal).

Remarque préalable : ions et substitutions

Certains ions ont des rayons ioniques proches : ils peuvent alors être **substitués**, c'est-à-dire occuper le même emplacement dans une maille cristalline. Plusieurs « couples » d'ions apparaissent ainsi :

Al³⁺ et Si⁴⁺	(resp. 0,57 Å et 0,4 Å)	Mg²⁺ et Fe²⁺	Na⁺ et Ca²⁺	(resp. 0,98 Å et 1,06 Å)
---	-------------------------	---	--	--------------------------

Ceci explique que l'on puisse trouver des **séries continues de minéraux** présentant les membres d'un de ces « couples » en proportions variables : c'est le cas des **plagioclases** (série Na-Ca des feldspaths ; alors que dans le même temps, le remplacement de Na (0,98 Å) par K⁺ (1,38 Å) est plus difficile : la série est ici discontinue).

minéral	Formule et famille	couleur	Trait	éclat	dureté	clivage	forme	remarques
Olivine	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ Nésosilicate	Vert à jaune- brun	blanc	Vitreux, gras	6,5-7	imparfait	granulaire	Vert et translucide
Amphibole	$(\text{Na,Ca})_{2,3}(\text{Fe,Mg})_4$ $\text{Al}_{0,2}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ Inosilicate	Bleu, vert, noir	Gris- vert / gris- bleu	vitreux	5-6,5	2 à 120°	Agrégats, plus ou moins allongés	Variables mais plutôt foncés
Pyroxène	$(\text{Mg,Fe,Al,Ca})(\text{Si,Al})\text{O}_3$ Inosilicate	Vert à noir	blanc	vitreux	5-7	2 à 90°	prismatique	Foncés, contours nets
Micas Blanc (muscovite)	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$ Phyllosilicate	Incolore	Blanc	Blanc	2-3	//	Feuilleté	Brillant blanc
Micas noir (biotite)	$\text{K}(\text{Fe,Mg})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$ Phyllosilicate	noir	blanc	métallique	2-3	//	Feuilleté	Brillant noir
Feldspath potassique (orthose)	KAlSi_3O_8 Tectosilicate	Blanc à rose	blanc	nacré	6-6,5	(2)	Prismatique	Mat ; macle de Carlsbad
Feldspaths plagioclases	$\text{NaSi}_3\text{AlO}_8 \rightarrow \text{CaSi}_2\text{Al}_2\text{O}_8$ <i>Albite Anorthite</i> Tectosilicate	Blanc (clair) à gris-vert- bleu	blanc	Vitreux, nacré	6-6,5	(2)	Prismatique	Souvent allongé ; macles répétées
Quartz	SiO_2 Tectosilicate	Incolore- blanc-gris etc.	blanc	Gras, vitreux	7	aucun	Agrégats granuleux	« gros sel »
Grenat	$(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ <i>en général</i>	Rouge- brun	blanc	Vitreux à résineux	6,5- 7,5	aucun	hexagonal	Couleurs vert- jaune possibles

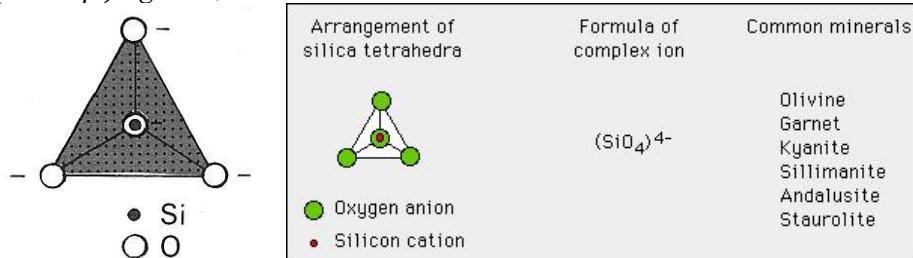
⇒ Nésosilicates : l'olivine

Les **tétraèdres** sont **isolés**, aucun oxygène n'est mis en commun. Leur assemblage est ordonné et les tétraèdres sont entourés de cations qui neutralisent les charges.

La formule de base des nésosilicates est SiO_4^{4-}

Les **olivines** sont de formule globale : $(\text{Fe, Mg})_2(\text{SiO}_4)$. Elles constituent une série isomorphe continue depuis le pôle magnésien Mg_2SiO_4 (forstérite) jusqu'au pôle ferreux Fe_2SiO_4 (fayalite). Ce sont des minéraux vert olive, à éclat huileux qui rayent le verre. Les olivines s'altèrent fréquemment en serpentine $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ dans les roches du plancher océanique, sous l'action de la circulation hydrothermale.

Autres nésosilicates (pour info) : grenat, silicates d'alumine Al_2SiO_4



⇒ Inosilicates : amphiboles et pyroxènes

Les tétraèdres sont **associés en chaînes**, en étant reliés par deux de leurs sommets. Des cations permettent d'associer les chaînes entre elles. Les pyroxènes ont une structure avec une chaîne simple de tétraèdres, alors que les amphiboles ont une structure avec une double chaîne de tétraèdres.

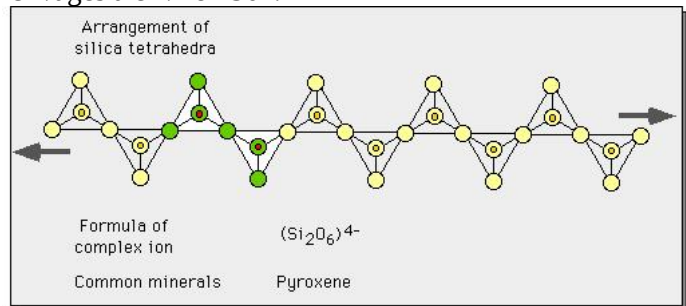
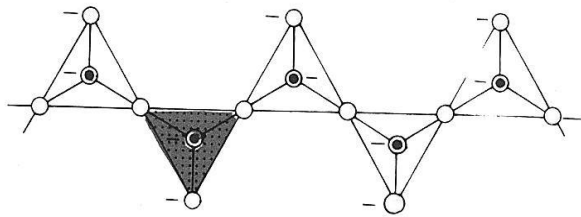
Les **pyroxènes** ont pour formule de base : $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$

Les charges négatives de la chaîne sont équilibrées :

- Fe^{2+} et Mg^{2+} exclusivement ⇔ orthopyroxènes
- Ca^{2+} associé à Fe et à Mg ⇔ clinopyroxènes
- Parfois Na^+ et Al^{3+} : pyroxène stable à haute pression : la jadéite.

Ce sont des minéraux **ferromagnésiens** non hydroxylés, présents dans les roches telles que les basaltes, gabbros et péridotites. Ce sont des minéraux noirs, non clivables facilement, comme les amphiboles (à la différence des micas noirs).

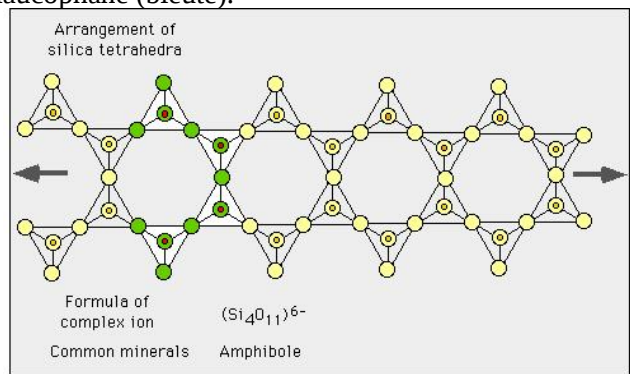
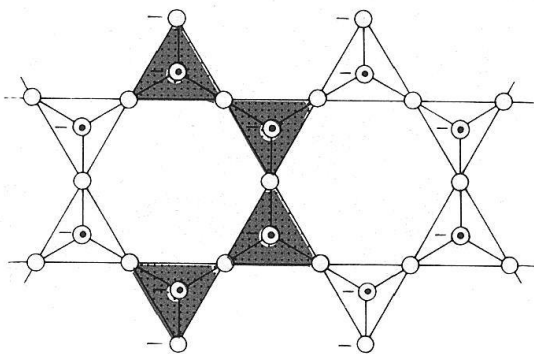
On les différencie des amphiboles par la présence de deux clivages à environ 90°.



Les **amphiboles** ont pour formule de base : $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-} [\text{OH}]$. La structure en double chaîne forme des cercles de tétraèdres, au centre desquels vient se placer un ion hydroxyle.

Les charges négatives sont équilibrées par des ions Fe^{2+} et Mg^{2+} : les amphiboles sont donc des **ferromagnésiens**. Leurs formules sont complexes car de nombreux cations interviennent. De plus au centre des hexagones formés, on trouve un ion OH^- , les amphiboles sont donc des minéraux hydroxylés. Ces minéraux sont communs dans les roches magmatiques et métamorphiques. Ils présentent deux clivages à environ 120°.

Exemples : la Hornblende (noir à vert foncé – brun), le Glaucophane (bleuté).



⇒ **Phyllosilicates** : micas noir (biotite) et blanc (muscovite)

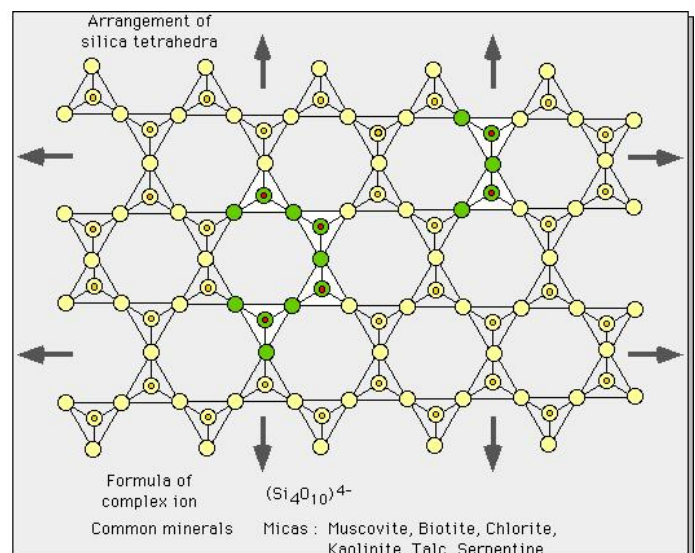
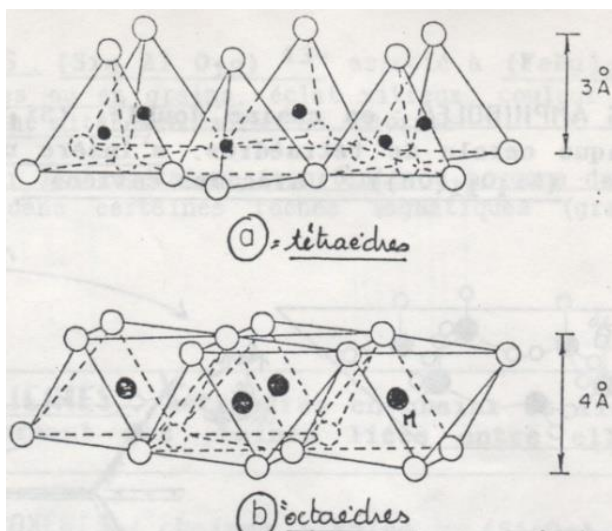
Les tétraèdres sont organisés en **feuillets**.

On distingue deux types d'empilements en couches :

- des **couches de tétraèdres** incluant des ions hydroxyles : $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-} [\text{OH}]_2$
- des **couches d'octaèdres** impliquant de l'aluminium, éventuellement remplacé par un cation bivalent : $\text{Al}(\text{OH})_3$

Les phyllosilicates forment un ensemble d'une très importante diversité. En particulier, on peut distinguer (pour information) diverses structures de feuillets, en fonction de l'agencement des couches de tétraèdres (**Te**) et d'octaèdres (**Oc**) :

2 couches	3 couches	4 couches
Te-Oc	Te-Oc-Te	Te-Oc-Te + Oc



Les **micas** ont une structure bien feuilletée, qui les rend très facilement clivables. Les feuillets sont à trois couches (Te-Oc-Te) ; il y a substitution d'un Silicium sur 4 par de l'Aluminium. Le mica blanc (**muscovite**) est peu altérable et donc souvent retrouvé dans des roches sédimentaires ; minéral de métamorphisme de basse température).

Le mica noir (**biotite**) est le plus répandu, très présent dans les roches métamorphiques et magmatiques. Il est plus altérable que la muscovite, et donc moins présent dans les roches sédimentaires.

Les argiles (présentes dans les roches sédimentaires) sont aussi des phyllosilicates.

⇒ Tectosilicates : feldspaths et quartz

Ils sont caractérisés par le fait que chaque tétraèdre est **lié à ses voisins par ses 4 sommets** : tout oxygène est commun à deux tétraèdres.
Formule de base : $[\text{SiO}_2]$

SiO_2 est la formule de la silice, dont la forme cristalline la plus fréquente est le **quartz**.

Le quartz est abondant dans les roches magmatiques (granite ou rhyolite) et métamorphiques (gneiss) acides. Très résistant à l'altération, on le trouve également dans de nombreuses roches sédimentaires.

Les **feldspaths** sont des tectosilicates plus complexes du fait qu'à certains sites tétraédriques Si^{4+} est substitué par Al^{3+} . Cela fait apparaître des charges négatives supplémentaires qui sont équilibrées par la présence de cations supplémentaires : K^+ , Na^+ , Ca^{2+} . On distingue deux catégories de feldspaths en fonction des cations K/Na/Ca présents : les plagioclases (Na-Ca) et les feldspaths alcalins (Na-K).

Les **feldspaths alcalins** [K – Na], forment une série discontinue, les 2 pôles sont :

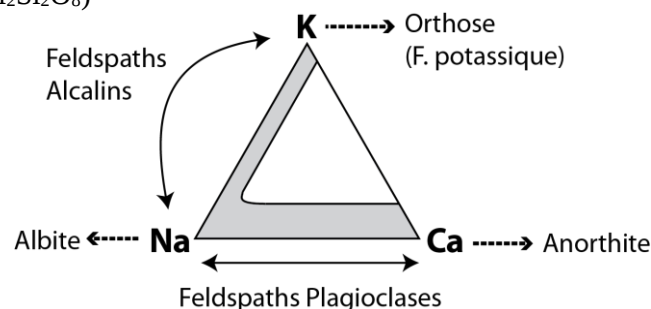
Orthose, avec du potassium $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

Albite, avec du sodium $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

Les **feldspaths plagioclases** [Na – Ca] : Les ions Na^+ et Ca^{2+} ont des rayons ioniques voisins ; ils peuvent alors se substituer. Les plagioclases forment aussi une série continue entre le pôle sodique et le pôle calcique :

Albite, avec du sodium $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

anorthite, avec du calcium $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$



3. Observation générale des roches magmatiques

Les roches se présentent, sur le terrain, sous forme de massifs, d'affleurements, de blocs, de pierres, etc. L'identification d'une roche et la détermination d'informations utiles nécessite **tout d'abord une étude descriptive complète et rigoureuse** de l'échantillon. Toute étude d'échantillon doit toujours commencer par cette étape d'observation !

Méthodologie : observation à l'œil nu

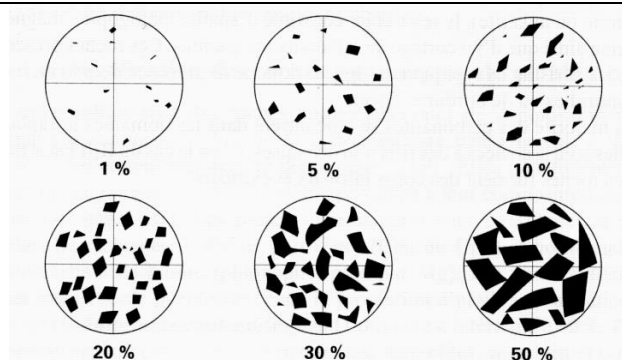
- 1- Déterminer le type de roche : magmatique
- 2- Décrire la couleur → hypothèse de composition chimique (richesse Si ; Fe-Mg)
- 3- Décrire la texture et le grain → type de refroidissement (lent – rapide)
- 4- Décrire et identifier les minéraux
- 5- Faire un schéma (légende + échelle → caractéristiques minéralogiques et texturales importantes)
- 6- Nommer la roche
- 7- Proposer un contexte géodynamique / relier la roche à ses conditions de formation

Méthodologie : observation microscopique

- 1- **Identification des minéraux** : donnée dans la photographie (programme de BCPST : « sur photographies » et « les minéraux sont légendés »)
- 2- **Déterminer le type de roche (magmatique)**
- 3- **Déterminer la texture** → type de refroidissement (lent – rapide – étapes éventuelles)
- 4- **Estimer les pourcentages** → composition chimique (richesse Si ; Fe-Mg)
- 5- **Déterminer la composition minéralogique** : minéraux abondants ou minoritaires
- 6- **Faire un schéma (légendé + échelle** → caractéristiques minéralogiques et texturales importantes)
- 7- **Nommer la roche**
- 8- **Proposer un contexte géodynamique / relier la roche à ses conditions de formation**

Abaque d'estimation visuelle des pourcentages volumétriques de minéraux.

Plusieurs critères prennent en compte des pourcentages de présence de certains minéraux ; il faut donc être capable d'estimer approximativement des pourcentages, aussi bien à l'œil nu qu'au microscope.



3.1. Observation de la couleur générale de la roche

L'observation de la couleur est importante et peut fournir, dans certains cas, une idée approximative de la composition chimique et minérale d'un échantillon.

- Une roche magmatique de couleur claire a une composition chimique acide.
- A l'inverse, une roche magmatique très sombre a une composition basique ou ultrabasique, sa composition minérale est pauvre ou dépourvue de quartz mais riche en minéraux ferromagnésiens.

Roche magmatique	Claire ↔ acide = riche en silice
	Très sombre ↔ riche en ferromagnésiens (basique ou ultrabasique)

Les termes fréquemment utilisés pour décrire la couleur des roches sont **foncé (mélano)**, **moyen (més)** et **clair (leuco)**. ATTENTION : La « couleur » se réfère à la proportion de minéraux sombres ; ce critère descriptif ne s'applique qu'aux roches magmatiques (il ne doit PAS être utilisé pour les roches sédimentaires ou métamorphiques).

- Roches **leucocrates** : 0 à 35% de minéraux sombres.
- Roches **mésocrates** : 35 à 65% de minéraux sombres.
- Roches **mélanocrates** : plus de 65% de minéraux sombres.

La composition sera précisée par une **analyse chimique** :

- Une roche **ultrabasique** a une teneur en silice **inférieure à 45%**;
- une roche **basique** a une teneur en silice comprise **entre 45 et 52%**;
- une roche **intermédiaire** a une teneur en silice variant de **52 à 66%**
- et une roche **acide** a une teneur **supérieure à 66%**.

Le lien couleur/acidité n'est cependant pas toujours vérifié, par exemple pour les roches magmatiques vitreuses comme l'obsidienne, elles sont de couleur noire avec une composition acide.

- De plus, les roches possédant une teneur en sodium et potassium (Na K) plus riches, pour une teneur en silice donnée, sont dites roches **alcalines**.

Adjectifs descriptifs en rapport avec la composition chimique SiO ₂ , Na, K	Teneur en silice SiO ₂	45%	52%	66%	
		ultrabasique	basique	intermédiaire	Acide
	Richesse en (Na, K) → alcalin				

3.2. Observation du grain et de la texture de la roche

Un **grain** est un élément de petite taille faisant partie de la roche. Dans le cas d'une roche magmatique, il s'agit des différents cristaux.

Observer l'échantillon:

- ⇒ Les grains de large dimension sont-ils en contact ou séparés par une **matrice** ("pâte" ou "ciment") **cristalline** et/ou **vitreuse**?
- ⇒ Les cristaux sont-ils de **taille** identique?
- ⇒ La roche est-elle **homogène** ou contient-elle des **ségrégations** de minéraux?

Cette analyse permet de définir la **texture** de la roche c'est à dire l'agencement des cristaux.

La texture peut être décelée à l'œil nu, à la loupe et complétée au microscope à partir d'une lame mince.

La roche est entièrement cristallisée : Roche holocristalline Macrocristaux = gros cristaux Microcristaux = petits cristaux Phénocristaux = très gros cristaux, souvent subautomorphes	Tous les cristaux sont visibles à l'œil nu	Tout le fond de la roche apparaît cristallisé et la taille des grains est comprise entre quelques fractions de millimètres et quelques centimètres : Texture grenue
	Cristallisation lente en profondeur	Les cristaux sont de grande taille (de l'ordre de plusieurs centimètres) : Texture pegmatitique
	Les cristaux ne sont visibles qu'au microscope (que ce soient les phénocristaux comme les microcristaux de la matrice)	Cristallisation un peu plus rapide, par exemple filons dans des roches solidifiées. Texture microgrenue
Seuls quelques cristaux sont visibles à l'œil nu	Des phénocristaux (= cristaux les plus grands) sont noyés dans une pâte plus ou moins homogène non cristallisée. De très nombreux petits cristaux sont visibles, souvent uniquement au microscope, en forme de baguettes : les microlites . Cristallisation rapide en surface (roches éruptives) Texture microlitique	
Aucun cristal n'est visible (à confirmer au microscope) Texture acristalline	Absence de phénocristaux et de microlites. Texture hyaline acristalline	<i>Exemples classiques :</i> Obsidiennes : vitreuses et sans bulle (ou presque) ; témoignage d'un dégazage facile du magma.
		Pierres ponce : très poreuses et vacuolaires, témoignages d'un dégazage difficile (laves très visqueuses refroidies brutalement).

Remarque : la nucléation (cf. cours magmatisme)

☆ Elle correspond à l'apparition d'un « germe » à partir duquel se réalise la croissance d'un cristal du minéral considéré. Le taux de nucléation varie de 0 au liquidus (cf cours) à 10^8 sites par cm^3 au solidus. Elle débute généralement à une température T très inférieure à la température de fusion du minéral en question : on parle d'une période de **surfusion**.

☆ Si le refroidissement est très rapide, la surfusion ne dure pas assez longtemps pour la formation des germes s'effectue ⇒ on obtient une structure sans cristaux → **structure vitreuse** (c'est-à-dire contenant du verre).

☆ La **croissance cristalline** ne nécessite pas forcément de surfusion, mais elle est favorisée par la persistance d'une phase liquide dans le magma où s'effectue la croissance du cristal à partir du germe. La vitesse de croissance varie de 3mm par jour à 0,03mm par an.

L'observation de la texture de la roche renseigne donc sur les conditions de refroidissement du magma, et donc sur le contexte de son épanchement : en surface ou en profondeur.

➤ **Texture grenue** : le temps de refroidissement a été suffisant pour que tous les phénomènes de nucléation puissent avoir lieu. Le refroidissement s'est donc réalisé en profondeur → ce sont des « **roches plutoniques** ».

➤ **Texture microlithiques** (hétérocristallines) : La pâte, une structure isomorphe appelée « verre » ou « mésostase », correspond à une partie non cristallisée du magma, figée à cause du refroidissement trop rapide. Ce type de roche

implique donc **une phase de refroidissement brutal**, en surface, précédée ou non de phases de refroidissement en profondeur. Ce sont des « **roches volcaniques** ».

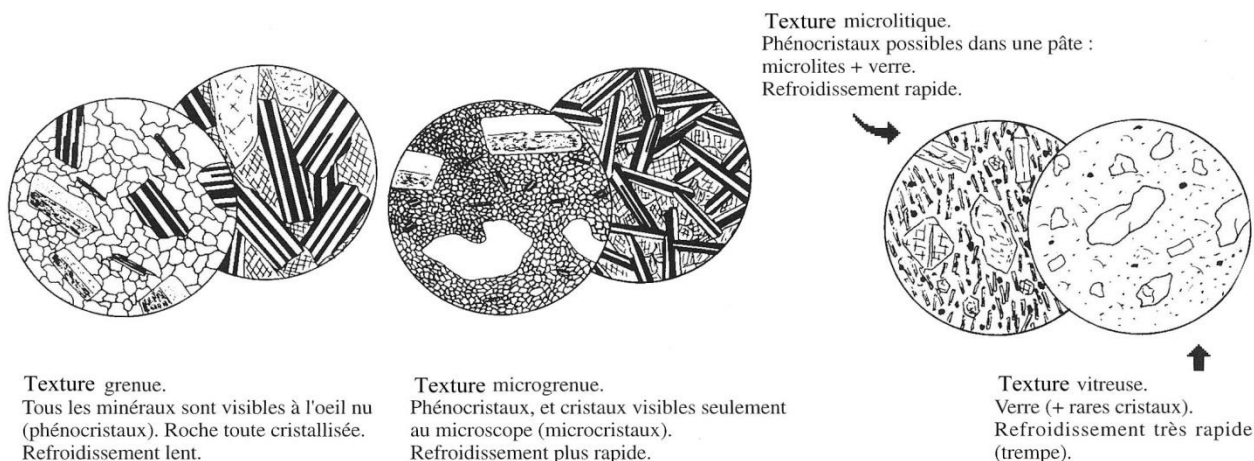
Les phases de refroidissement en profondeur déterminent la présence ou non de cristaux :

La présence des microlites témoigne d'une **phase de refroidissement rapide** (mais non brutale) soit au sein d'une coulée, soit plus profondément avant l'épanchement en surface.

Cette texture ne peut être décrite qu'au microscope : sur un échantillon macroscopique, on constate simplement que la texture ne semble pas holocristalline, et donc qu'elle est probablement microlithique.

Les phénocristaux, quant à eux témoignent d'une **première phase de refroidissement relativement lente** en profondeur.

➤ **Texture vitreuse** (acristalline) : Elle témoigne d'un refroidissement en une seule phase et **particulièrement brutal** (projections volcaniques par exemple).



4. La détermination des roches magmatiques

La détermination d'une roche magmatique est basée sur la détermination des minéraux la constituant et de leur proportion. Dans le cas d'une roche plutonique, on parle de **composition modale** (= basée sur l'observation 'réelle' des minéraux présents), alors que pour une roche volcanique seule une partie des minéraux est cristallisée et donc identifiable : on détermine donc quelle aurait pu être la composition minéralogique si tous les minéraux avaient pu cristalliser, à partir de l'analyse chimique de la roche : on parle alors de **composition normative**.

4.1. Composition modale et roches magmatiques

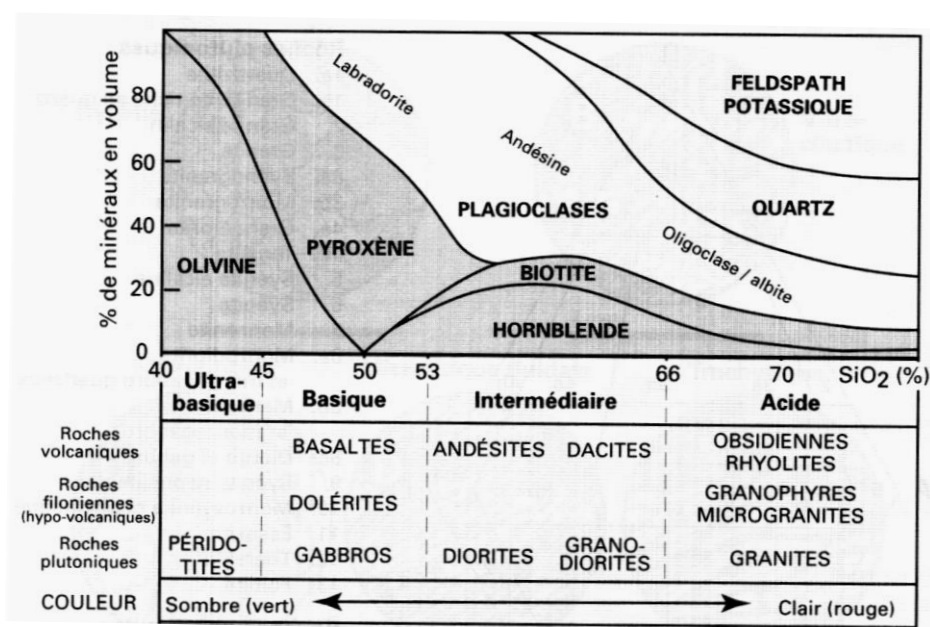
Voir « guide des roches » page 2

Les trachytes ont une composition modale proche des rhyolites, mais avec peu ou pas de quartz cristallisé, et plus de biotite.

Rappel – les roches suivantes ne sont PAS au programme de BCPST :
dolérites, granodiorites, dacites, obsidiennes.

Les dolérites sont des roches microgrenues de la composition gabbro-basalte : elles correspondent à un refroidissement d'un filon basaltique.

Les granophyres et microgranites sont des « granites » à structure microgrenue.



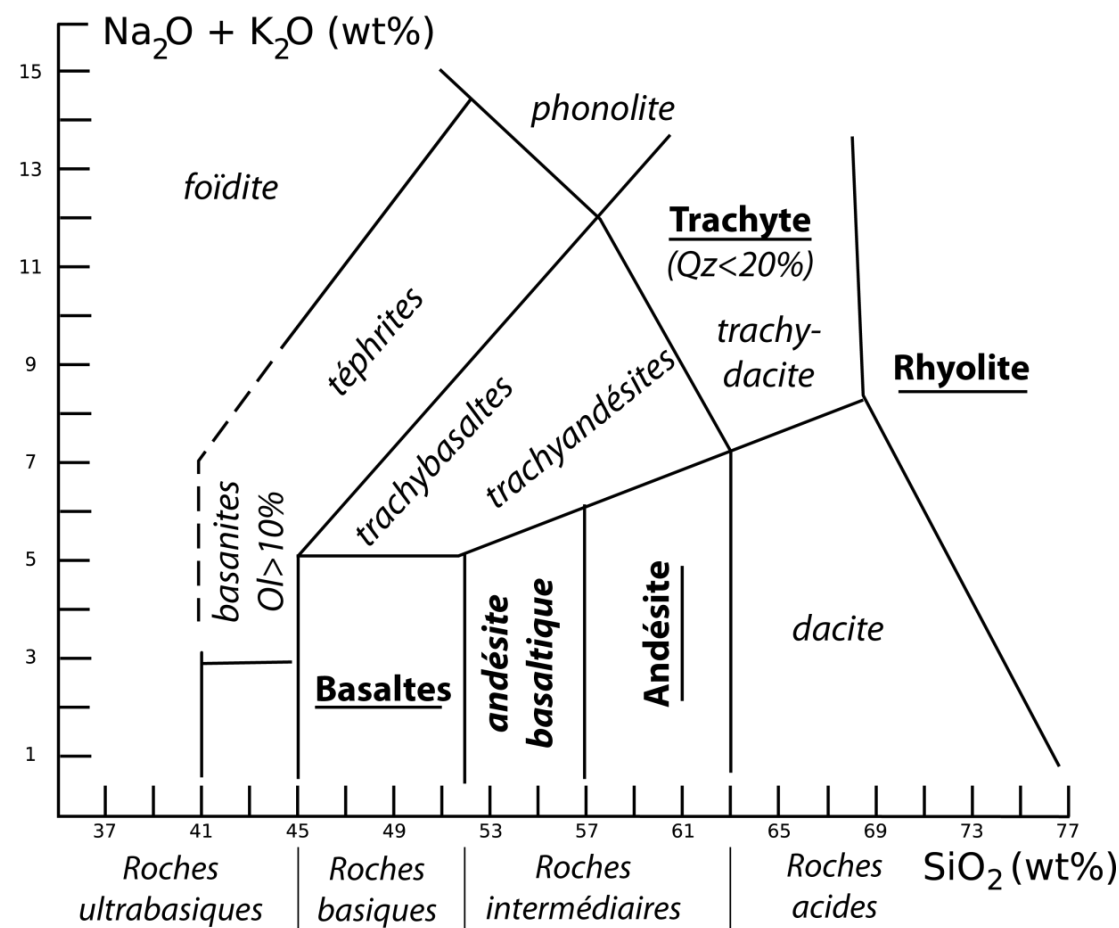
4.2. Composition chimique : le diagramme TAS

La détermination chimique des roches magmatiques utilise le diagramme de Strekeisen, basé sur la composition en « éléments clairs » : quartz (ou feldspathoïdes : minéraux se formant à partir d'un magma ne disposant pas d'assez de Si en fin de cristallisation pour former du quartz), feldspaths alcalins et feldspaths plagioclases. Voir BCPST2.

La **nomenclature internationale** des roches **volcaniques** est donc une nomenclature basée sur la composition chimique des roches, représentée dans un diagramme **TAS : Total Alkalies Silica**.

Ce diagramme place chaque roche selon sa teneur en alcalins (mesurée par la somme des oxydes de sodium et de potassium déterminés chimiquement) et sa teneur en silicium (mesurée par la teneur en silice déterminée chimiquement).

Attention : la composition chimique d'une roche est déterminée par son oxydation complète. Il s'agit d'une teneur en oxydes des différents éléments présents : ces teneurs peuvent différer des teneurs massiques réelles des éléments chimiques.



Voir « guide des roches » page 3

Ce diagramme permet de distinguer :

- des roches peu évoluées : les basaltes
- des roches évoluées (différenciées) : les rhyolites (et des roches hyperalcalines : foïdites et phonolites)
- des roches **sous-saturées** en silice : basanites et téphrites
- des roches **saturées** en silice : trachybasaltes, trachyandésites, trachytes et trachydacites
- des roches **sur-saturées** en silice : andésites (dont basaltiques) et dacites

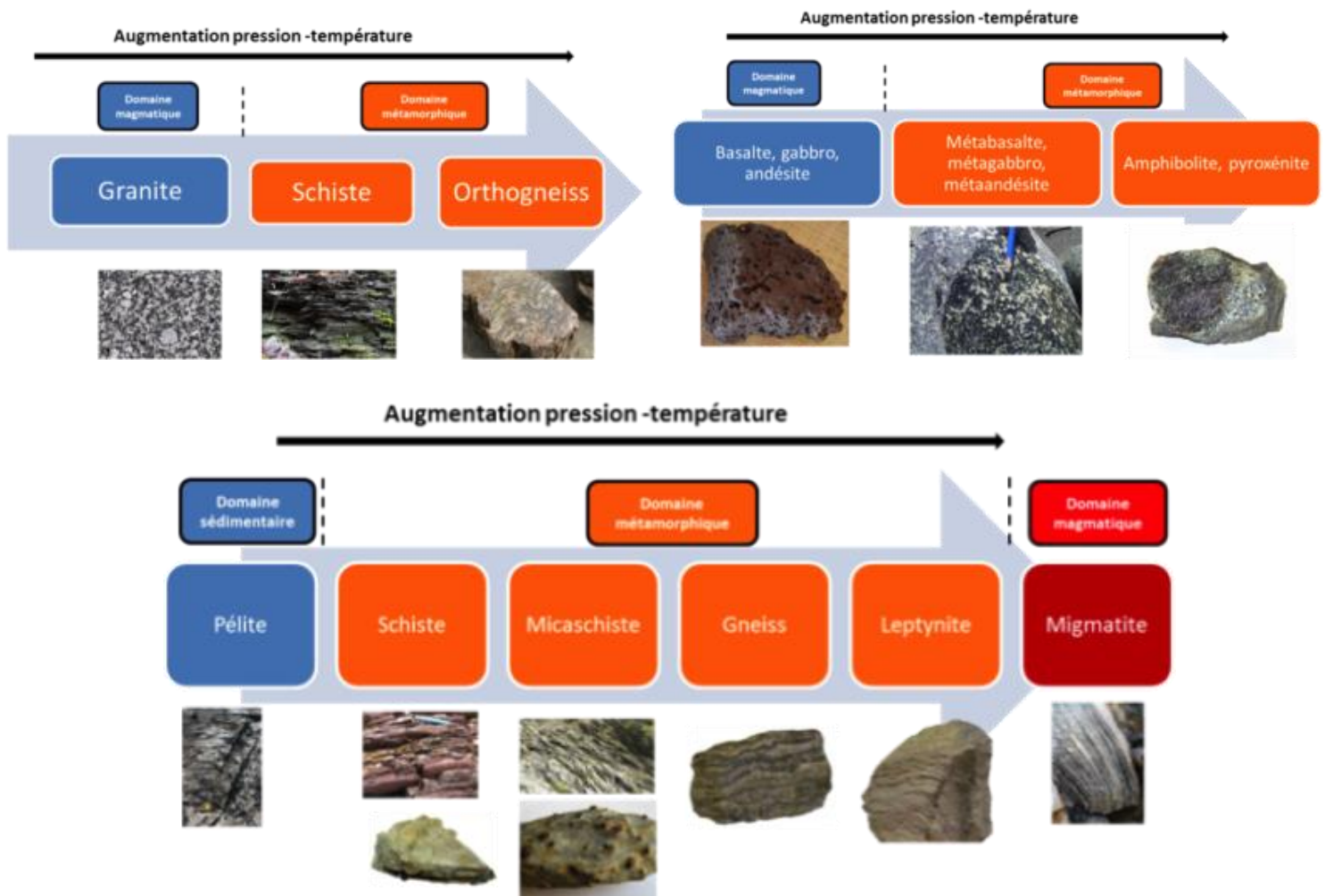
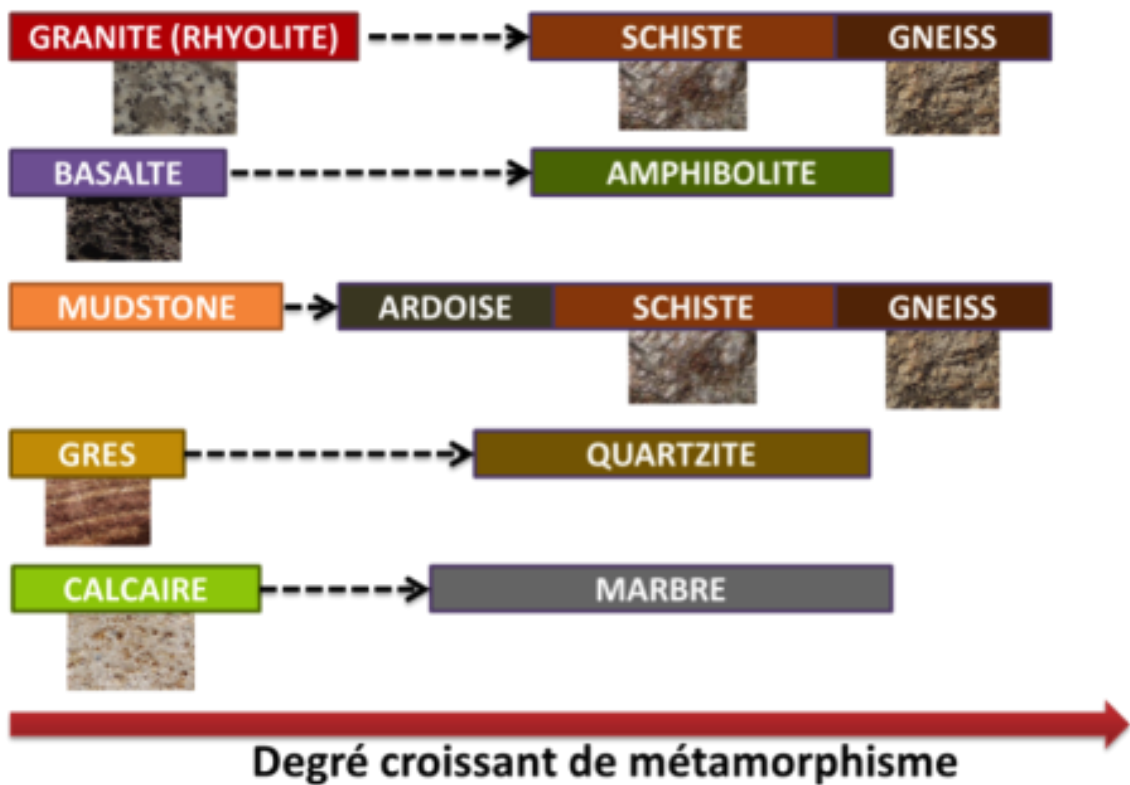
4.3. Observation des roches au programme

Pour chaque roche :

- ➡ Déterminer la **texture** ainsi que les **minéraux** visibles
- ➡ Déterminer le nom de la roche en utilisant la classification modale.
- ➡ A partir de l'observation des minéraux présents, estimer la richesse en silice et en alcalins et vérifier sur le diagramme TAS. Comparer les richesses relatives des roches pour les autres éléments chimiques courants des roches : Fe-Mg, Ca, Al.

5. Les roches métamorphiques

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches préexistantes : voir cours ST-G en BCPST2.



5.1. Feuilletage et litage

Les schistes (dont schistes ardoisiers), micaschistes et gneiss présentent une structure orientée, avec des plans nettement observables, qui peuvent correspondre à un feuilletage et/ou à un litage.

Litage = foliation : alternance de lits clairs et de lits sombres. Il s'agit d'une réorganisation minéralogique.

Le front de foliation apparaît entre 7000 et 8000 m de profondeur. Le développement de la foliation s'effectue par :

- Rotation des minéraux présents avant la déformation
- Croissance orientée des minéraux nouveaux.

Feuilletage = schistosité : clivages parallèles, conduisant au débit de la roche en feuillets parallèles sans perte de cohésion apparente de la roche.

La schistosité résulte du développement d'une anisotropie dans la roche au cours d'une déformation. C'est le résultat d'un aplatissement.

5.2. Texture des roches métamorphiques

Le développement des **textures** est contrôlé par :

- Le régime de contraintes et
- La nature des minéraux des roches, c'est-à-dire leur composition chimique

On peut, en BCPST1, retenir quelques textures, permettant de faciliter la description des roches.

- Textures **granoblastiques (1)** : roches constituées pour l'essentiel de minéraux dont les formes sont relativement régulières (quartz, feldspaths, grenat, cordiérite, pyroxènes, olivine, carbonates, etc.).

Textures **lépidoblastiques** : (lepidos = écaille) roches très riches en minéraux phylliteux (chlorites et micas ; phyllosilicates) disposés parallèlement à la schistosité.

- Textures **nématoblastiques** : (nématos = aiguille) riches très riches en minéraux aciculaires (amphiboles, sillimanite), dont l'orientation détermine souvent une linéation d'allongement.

L'association dans une même roche, à l'échelle centimétrique, de niveaux riches en minéraux phylliteux ou aciculaires (= en forme d'aiguilles), et de niveaux riches en quartz et feldspaths, détermine l'existence de texture mixtes :

- Textures **granolépidoblastiques (3)**
- Textures **granonématoblastiques (4)**

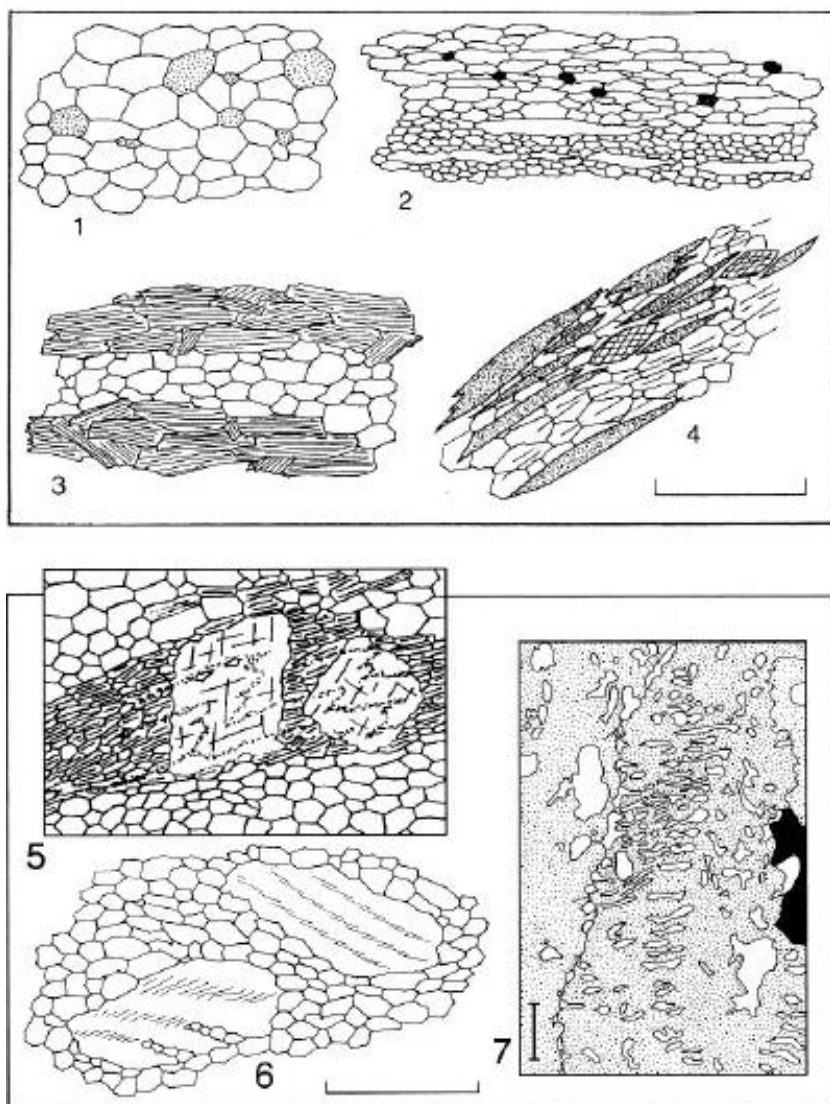


Figure 2.9 Principales textures des roches métamorphiques.

1 - Texture granoblastique : cornéenne, granofels ou marbre. 2 - Texture granoblastique orientée et blastomylonitique (gneiss, leptynite). 3 - Texture granolépidoblastique (gneiss, micaschiste). 4 - Texture granonématoblastique (amphibolite). 5 - Texture porphyroblastique. 6 - Texture porphyroclastique. 7 - Texture symplectitique (in Joanny, 1991) : intercroissances réactionnelles de clinopyroxène et de plagioclase dans une éclo-gite. Échelles 1 à 6 : 1 mm à 1 cm; 7 : 0,1 mm.

Autres types de textures, pour information :

- Textures **granoblastique orienté (2)** : Contraintes plus nettement anisotropes conduisant à la croissance préférentielle des grains parallèlement à la foliation.

- Texture **blastomylonitiques (2)** : Fortes anisotropie de contrainte ; déformation très accentuée ; cristaux néoformés de très petites tailles parmi lesquels des cristaux de grande taille sont dispersés.
- Textures **porphyroblastiques (5)** : Toute texture caractérisée par le développement de grands cristaux (*porphyroblastes*)
- Textures **porphyroclastiques (6)** : présence de cristaux ante-cinématiques (= présents avant la déformation) déformés de grande taille (*porphyroclastes*).
- Texture **symplectitique (7)** : abondance des arrangements réactionnels dans lesquels les cristaux néoformés sont restés sous la forme de vermicules très fins imbriqués les uns dans les autres (*symplectites*). Ce type de texture résulte de l'évolution de la *coronitisation* des minéraux réactionnels, c'est-à-dire de leur transformation partielle, en couronne, répondant à une instabilité.

5.3. Observation de roches : micaschiste et gneiss

Un schiste est une roche métamorphique présentant un feuilletage, ou schistosité. Dans le cas d'un **micaschiste**, cette **schistosité** s'accompagne d'une **foliation**, avec présence de lits de **phyllosilicates** (micas, muscovite, talc) et de lits avec du **quartz et des feldspaths** en général (accompagnés de minéraux accessoires – amphiboles, grenats – permettant de caractériser plus précisément le micaschiste étudié).

Un **gneiss** est une roche métamorphique présentant une **foliation**, sans schistosité. La foliation correspond à la présence de lits alternés avec des espacements centimétriques :

- **Lits clairs** avec quartz et feldspaths
- **Lits foncés**, souvent fins, avec micas noirs (biotite) et autres minéraux ferromagnésiens

La texture est **granolépidoblastique**.

De manière générale, dans l'étude des roches métamorphiques, si la roche initiale (= protolithe) est encore clairement reconnaissable il est commode de lui associer le préfixe méta- : On parle alors de metabasalte, métagranite, métapélite. Dans le cas où le protolithe n'est pas très bien identifié, mais si son origine – ignée ou sédimentaire – est bien reconnue, les préfixes ortho- et para- sont souvent utilisés. C'est souvent le cas pour les gneiss :

- Un **orthogneiss** est un granitoïde métamorphisé
- Un **paragneiss** est une roche sédimentaire métamorphisée (*métapélite, à partir d'une roche argileuse, ou une métagrauwacke, à partir d'une roche détritique de type arénite, sombre, riche en chlorite et argiles, quartz et feldspaths, et avec débris de roches type magmatique ou schiste*).

➡ **Observer** les échantillons fournis et identifier le micaschiste et le gneiss.

➡ **Réaliser** un dessin d'observation du micaschiste.

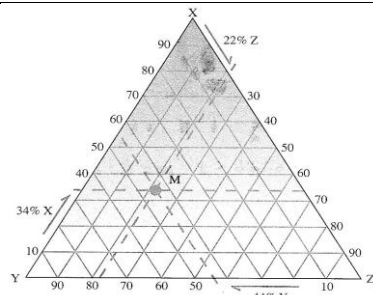
➡ **Réaliser** un schéma comparatif entre le gneiss et l'échantillon de granite.

6. Informations complémentaires et annexes pour information

6.1. Complément BCPST2 : La classification de Streckeisen, basée sur les minéraux clairs

Cette technique utilise des diagrammes triangulaires, permettant de placer graphiquement un point dont les coordonnées dans un triangle correspondent aux proportions de 3 éléments le constituant :

Exemple de lecture



Ici une roche 1 contenant 3 minéraux, X, Y et Z avec les proportions :

22% Z
34% X
44% Y

La somme des 3 pourcentages est obligatoirement de 100%

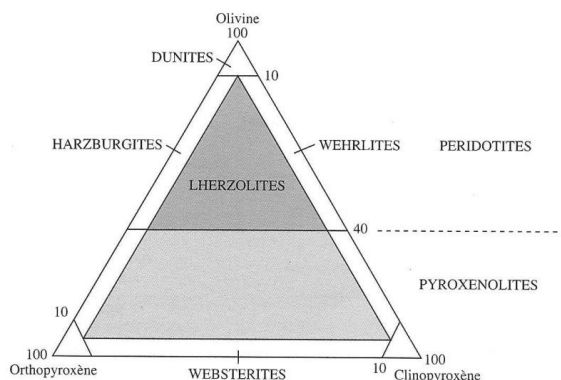
Parmi de nombreuses classifications existantes, celle de A.Streckeisen (1976), reprise ensuite par R.W.Lemaitre (1989), est le **système de classification international** pour les roches **plutoniques**.

Le principe consiste à classer les roches sur la base de **5 groupes de minéraux** qui sont :

- **Q** : le **quartz** et ses polymorphes (cristobalite, tridymite, coésite, stishovite);
- **A** : les **feldspaths alcalins**
- **P** : les **plagioclases** (et scapolite)

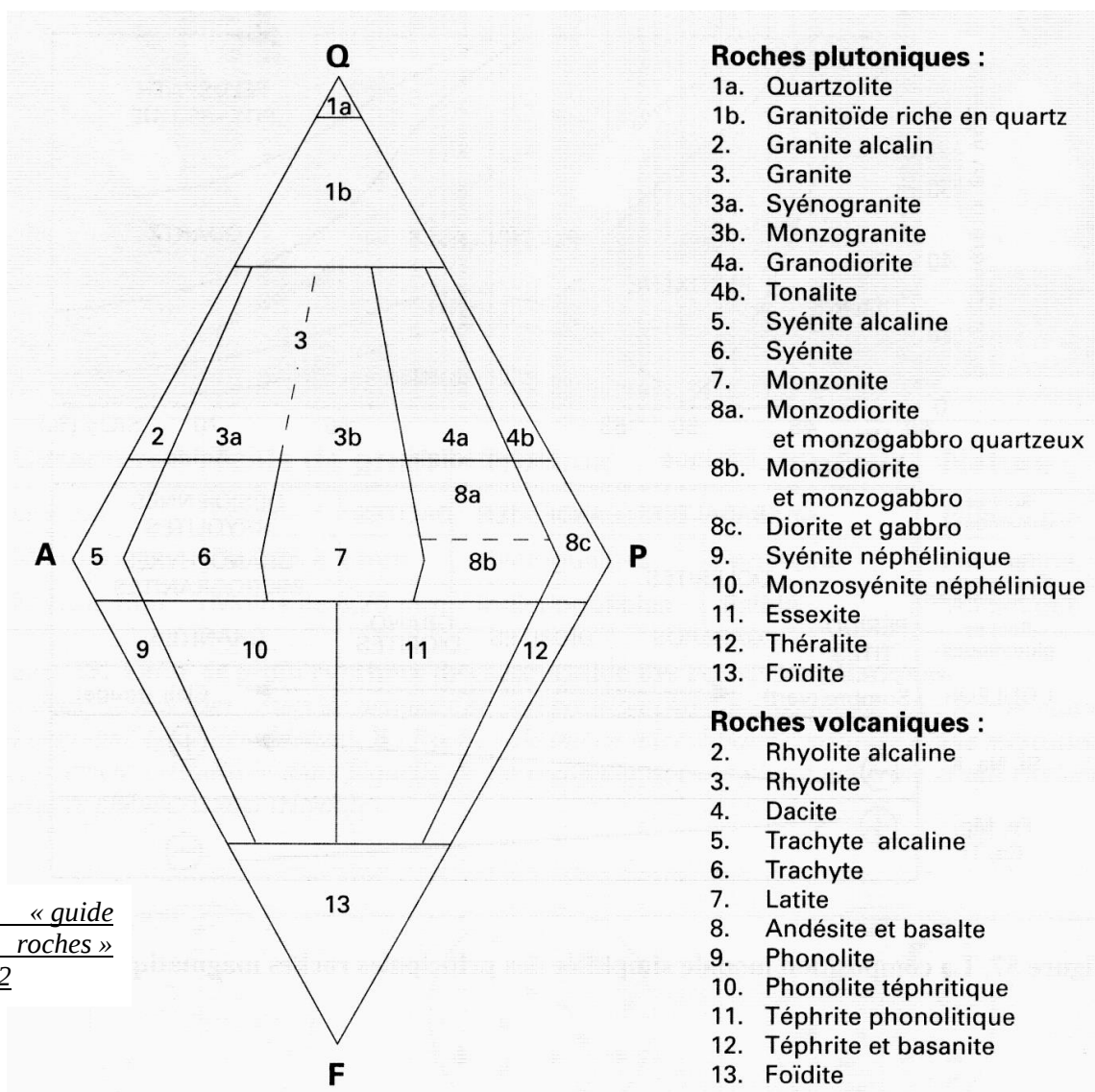
- **F** : les **feldspathoïdes** (néphéline, leucite, kalsilite, minéraux du groupe de la sodalite...)
- **M** : les minéraux **ferromagnésiens** (micas, amphibole, pyroxènes, olivine), les minéraux métalliques, les grenats, les carbonates primaires et les minéraux accessoires.

Une fois, les proportions de ces groupes de minéraux estimées, on les reporte dans le double triangle (pour QAPF ; les roches comportant plus de 90% de ferromagnésiens, qui constituent les péridotites et pyroxénolites sont traitées à part).



Classification des roches riches en minéraux ferromagnésiens (M compris entre 90% et 100%).

Retenir Harzburgites et Lherzolites



Voir « guide
des roches »
page 2

6.2. Exercice : détermination de roches dans le diagramme QAPF (Streckeisen)

➔ Placer la roche 1 proposée dans le diagramme de Streckeisen et nommez-la :

roche plutonique contenant : 1% de Quartz, 6% de Feldspaths alcalins, 73% de feldspaths plagioclases dont 60% d'anorthite et 20% de pyroxène. Utilisez aussi, ici, le tableau du 3.2 ci-dessous.

➔ Même travail avec la roche 2 plutonique suivante :

50% de Quartz, 10% de Feldspaths alcalins, 30% de feldspaths plagioclases, 6% de biotite et 4% d'amphibole.

6.3. Quelques informations complémentaires, à ne pas mémoriser (hors programme).

⇒ Les **feldspathoïdes** :

Ce sont des tectosilicates déficitaires en silice.

La substitution de Si^{4+} par Al^{3+} est plus importante que pour les feldspaths, les autres cations sont donc aussi relativement plus abondants. Ces minéraux caractérisent des roches magmatiques déficitaires en silice : on ne les trouve jamais associés avec du quartz.

⇒ Autres **familles de silicates** :

- Sorosilicates : tétraèdres de silicium groupés par deux. Ex : les épidotes, formées lors de l'hydratation du plancher océanique sous l'action de la circulation hydrothermale
- Cyclosilicates : tétraèdres de silicium disposés en anneaux de trois, quatre ou six tétraèdres. Ex : les tourmalines (minéraux de haute température et haute pression) et les cordiérites (minéraux de températures moyennes ou hautes)

⇒ Les roches (magmatiques ou non) peuvent contenir des éléments natifs : métaux (cuivre, argent, or, platine...), soufre, carbone (diamant, graphite).

Les roches peuvent contenir aussi des oxydes : hématite (Fe_2O_3), goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$), gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$)...

La présence en quantités significatives de ces différents types d'éléments caractérise les **gisements de minerais**.

⇒ Le microscope polarisant

Les roches peuvent être observées au microscope, sous la forme de lames transparentes de 0,03 mm d'épaisseur. Un microscope optique normal ne permet pas d'obtenir de nombreuses informations : c'est pourquoi on utilise en géologie un microscope polarisant, qui permet une reconnaissance précise des minéraux constituant la roche.

Un microscope polarisant diffère d'un microscope optique ordinaire par la présence de deux éléments optiques supplémentaires : le polariseur et l'analyseur. Ces éléments optiques sont basés sur la double nature de la lumière, qui est à la fois particulaire (photons) et ondulatoire. Les onduations électromagnétiques de la lumière se font dans toutes les directions de l'espace.

Le **polariseur** est situé **entre la source lumineuse et l'objet à observer**. Il permet de polariser la lumière, c'est-à-dire de ne laisser passer que les vibrations lumineuses contenues dans un plan fixe et déterminé : la lumière ne présente plus des ondulations dans toutes les directions, mais dans une seule direction de l'espace.

La lumière traversant uniquement le polariseur est nommée **lumière polarisée non analysée (LPNA)** (ou incorrectement « lumière naturelle »).

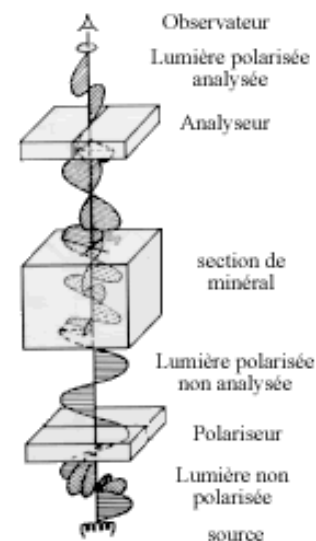
La lame mince de roche est donc traversée par de la lumière polarisée.

L'**analyseur** est un dispositif du même type que le polariseur, mais situé lui entre l'objet et l'oculaire. Il est escamotable : on peut ainsi observer en lumière polarisée non analysée (LPNA, avec seulement le polariseur), ou en **lumière polarisée analysée (LPA)**, avec le polariseur et l'analyseur en place (ou incorrectement « lumière polarisée »).

L'analyseur est orienté avec un décalage de 90° par rapport au polariseur. En conséquence, aucune vibration lumineuse ne devrait pouvoir être perçue à travers l'oculaire en LPA. C'est le cas pour une structure minérale non cristallisée : on parle alors de verre. Un verre apparaît **éteint** en LPA, c'est-à-dire noir dans tous les cas. C'est aussi le cas de certains minéraux cristallisés, comme le grenat ; c'est le cas des oxydes métalliques, etc.

La plupart des structures cristallines présentent la propriété de pouvoir dévier la lumière polarisée qui les traverse : la lumière est toujours polarisée, et n'ondule donc que dans une seule direction de l'espace, mais cette direction est différente de celle du rayon incident.

Ainsi déviée, cette lumière polarisée peut être perçue, avec une teinte dépendant de l'orientation du minéral. L'objet étant placé sur une platine mobile, il est possible de le faire tourner : un minéral, structure cristalline, change alors de couleur progressivement, pour atteindre une extinction totale (aucune lumière ne passe plus), pour une position bien précise.



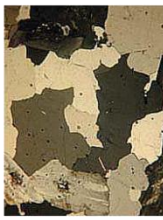
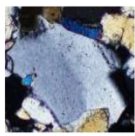
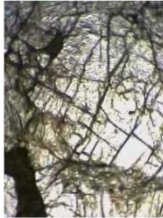
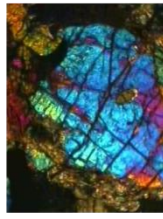
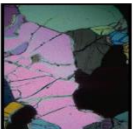
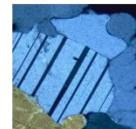
Utilisation du microscope polarisant

Un échantillon est toujours observé d'abord en **LPNA**. Ceci permet d'apprécier :

- la teinte naturelle des minéraux ;
- la forme des cristaux (automorphe ou xénomorphe), la présence de clivages, de fractures
- le « relief » des minéraux, c'est-à-dire une impression qu'ils se dégagent du reste de l'échantillon ;
- la présence de verre, qui apparaît noir.

En **LPA**, il est fondamental de faire tourner la platine sur laquelle est disposé l'objet, afin d'observer :

- la forme des minéraux (visible seulement en LPA pour certains minéraux de faible relief) ;
- les teintes de polarisation ;
- les macles
- les extinctions : en faisant tourner la platine, on observe quatre extinctions par tour. La mesure de l'angle d'extinction est un élément qui permet la détermination du minéral (non utilisé en BCPST).

Guide G2	FICHE DE RECONNAISSANCE DES MINÉRAUX			
	LPNA	Morphologie	photographies	LPNA
⚠ attention danger !				
	Quartz Tectosilicate Si O_2 LPNA : grisâtre, aspect gras ; raye le verre   LPNA : incolore, très limpide ; pas de relief Sections globuleuses ou grossièrement hexagonales à crêtes épaissies LPA : gris clair à blanc, très variable. Parfois extinction « roulante »  			
	Olivine Nésosilicate $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \text{Si O}_4$ LPNA : vert olive, sans clivage   LPNA : très légèrement teinté ; très fort relief Cristaux globuleux, très souvent craquelés de manière irrégulière par de nombreux clivages (aspect 'vitrail') LPA : teintes vives (bleu, jaune, vert, rouge)   Ne pas confondre : Pyroxène, de relief moins fort et de formes souvent plus nettes			
	Feldspath alcalin : Orthose Tectosilicate (feldspath) $\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$ LPNA : blanc, blanc jaunâtre, blanc rosé ; éclat vitreux à laiteux ; macle de Carlsbad   LPNA : incolore trouble ('sale') ; peu de relief sections grossièrement rectangulaires à extrémités arrondies LPA : gris – blanc ; macle de Carlsbad  			
	Feldspath Plagioclase Tectosilicate (feldspath) $\text{Na Si}_3 \text{Al O}_8 \rightarrow \text{Ca Si}_2 \text{Al}_2 \text{O}_8$ LPNA : blanc à gris clair, vitreux ; cristaux clairs allongés en baguettes   LPNA : incolore à gris ; peu de relief sections en baguettes plus ou moins allongées LPA : blanc, gris, noir ; macles polysynthétiques  			

FICHE DE RECONNAISSANCE DES MINÉRAUX			
Guide G2			